

契約概念に基づく利用者指向センサデータ流通基盤に関する研究

著者	生出 拓馬
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	87
号	1
ページ	64-67
発行年	2018-08
URL	http://hdl.handle.net/10097/00123437

博士学位論文要約（平成30年 3 月）

契約概念に基づく利用者指向センサデータ流通基盤に関する研究

生出 拓馬

指導教員：菅沼 拓夫， 学位論文指導教員：阿部 亨

A Study on User-oriented Sensor Data Distribution Platform Based on Contract Concept

Takuma OIDE

Supervisor: Takuo SUGANUMA, Research Advisor: Toru ABE

Internet-of-Things (IoT) technology has been applied to various fields, and researches on utilization of various sensor devices are under way. However, in order to utilize sensor devices owned by individuals such as smartphones, it is necessary to newly consider privacy policy and mobility of device owner; therefore a new system configuration model is required. In this research, we propose Waon, COSAP, and ICOS as sensor data distribution platforms. In Waon, devices construct a P2P network with peripheral devices and an efficient search function can be achieved with less network maintenance cost. COSAP autonomously builds distribution routes of sensor data by distributed cooperative protocol based on the “contract” concept by components given knowledge of their owners’ policy. ICOS provides a D2D network construction function capable of instantaneous connection with peripheral smartphones without modifying the user’s smartphone. In this study, we evaluate effectiveness of proposed platforms through implementation and evaluation experiments, and contribute to sophistication and activation of sensor data distribution.

1. 序論

モノのインターネット (Internet of Things: IoT) は、身の回りにあるあらゆるモノを相互に接続してインターネットを構築する概念であり、2010 年頃から提唱されはじめたパラダイムである。特に近年では、センサデバイスの小型化や高機能化に伴って IoT 環境の社会実装が可能となり、2016 年 1 月に閣議決定された『超スマート社会』¹⁾ の実現に向けて、ヘルスケアシステムや環境モニタリングシステム、交通管理システム、ICT 農業といった様々な分野での取り組みが進められている。しかし、社会実装が進んでいるシステムの多くは、市街地や農地にあらかじめ設置した専用のセンサデバイスから情報を収集し活用するシステムモデルとなっている。ところが、今後普及が見込まれているのはスマートフォンやロボットといった、特定の目的を持たずに設置される汎用的なセンサデバイスであり、これらから送出される多種多様なセンサデータの利活用が今後の IoT 社会の高度化に必要不可欠な領域となっている。

そこで本研究では、そういった汎用センサデバイスから得られる様々なセンサデータを、時間・空間・用途・相手に依らずに自由に獲得し共有可能な利用者指向のセンサデータ流通基盤の実現を目的とする。しかし、汎用センサデバイスを対象としたセンサデー

タ流通基盤の実現には、以下に示す課題が存在する。

【課題 A】 センサデータ流通基盤のネットワーク構築に関する課題

【課題 B】 センサデータ流通基盤の流通経路構築に関する課題

【課題 C】 センサデータ流通基盤の利用環境構築に関する課題

具体的には、まず、【課題 A】として、汎用センサデバイスは常にネットワークまたはサービスに接続し続けるわけではない。また、センサデバイスの多様化によって提供可能なサービスもまた多様化していく。このような動的にその構成が変化しうる環境において、安定的に端末間を接続するネットワークを構築することは困難である。次に、【課題 B】として、汎用センサデバイスから送出されるセンサデータを流通するには、そのデバイスの所有者の存在を新たに考慮する必要がある。しかし、所有者自身のプライバシーポリシーや提供相手との関係性に基いて流通経路や流通条件を決定する場合、その数や組み合わせが膨大となるため、全てにおいて適切な制御をおこなうことは困難である。更に、【課題 C】として、他者の持つ未知の汎用センサデバイスの情報

を事前に知ることができないため、汎用センサデバイス間で柔軟にネットワークを構築し、センサデータ流通基盤の利用環境を構築することが困難である。

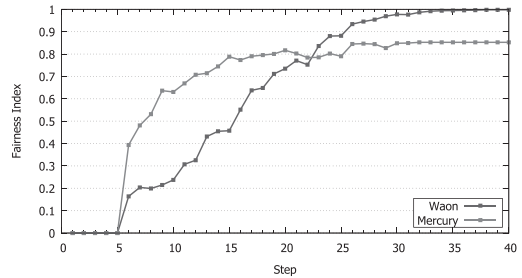
本研究は、ネットワーク技術領域および IoT システム技術領域における研究開発を通じて超スマート社会におけるサービスプラットフォームの実現に寄与するものである。具体的には、従来の垂直統合型のシステム構成モデルから各構成要素の自律協調に基づく水平分散型のシステム構成モデルへ転換することで、汎用センサデバイスの効率的な利活用を図る。また、従来のセンサデータ流通モデルである Participatory Sensing モデルと Opportunistic Sensing モデルを発展的に統合することで、デバイス所有者のポリシーを考慮可能なセンサデータ流通の高度化を図る。

2. 自律分散型 P2P 通信基盤

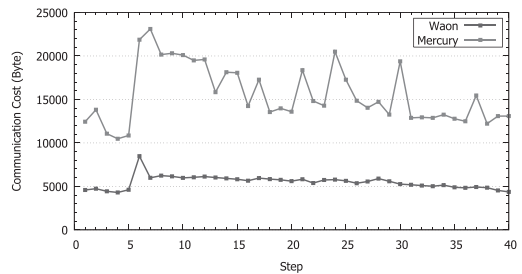
第2章では、【課題 A】センサデータ流通基盤のネットワーク構築に関する課題を解決するために、自律分散型 P2P 通信基盤 Waon を提案する。

従来の垂直統合型のシステム構成モデルでは、相互のシステム間およびネットワーク参加者間の連携はなく、それぞれのネットワーク内で流通するセンサデータの共有が困難である。そのため、連携先のシステムの柔軟な変更やシステム間ならびにセンサデバイス間で相互に連携可能な、水平分散型のシステム構成モデルとして再構築し、それに伴って、センサデバイスの突然の参加および離脱を許容し、任意のセンサデバイス間で相互にコミュニケーションが可能な柔軟なネットワークアーキテクチャへ移行することが必要である。動的に構成が変化する不安定なネットワーク環境においては、拡張性や耐障害性に優れる P2P ネットワーク技術の適用が有効である。しかし、既存の研究においては、突然の端末の参加・離脱への対応、P2P ネットワーク上で展開されるアプリケーションの機能多様性の実現、そして動的な端末間の負荷分散を同時に行うことが困難であるという課題が存在する。

提案基盤である Waon は、アプリケーションへ制約を課すことなく、負荷分散の実行時にネットワークの再構築が不要な構造化 P2P ネットワーク基盤である。Waon は端末間でリング状の論理ネットワークを構築し、2種類の経路表を保持することで他端末との通信およびサービスの検索を行う。負荷分散はこれらの経路表を更新する際に得られる情報のみを用いて行い、負荷分散の前後で経路表を再構築する必要がない。そのため、ネットワーク維持コストの増加を引き起こすことなく、不安定なネットワーク環境へも適用可能となる。また、本研究では、Waon の一応用例として、大規模災害時における利用を想定した安否情報共有システムのプロトタイプシステム



(a) 負荷分散性能



(b) ネットワーク維持コスト

図 1: Waon の性能評価

を実装した。そして、自作のシミュレータを用いた評価実験により、Waon が関連研究である Mercury アルゴリズム²⁾よりも高い負荷分散性能を少ないネットワーク維持コストで実現できた(図1)。

3. 契約概念に基づくセンサデータ流通基盤

第3章では、【課題 B】センサデータ流通基盤の流通経路構築に関する課題を解決するために、契約概念に基づくセンサデータ流通基盤 COSAP を提案する。

利用者の携帯するスマートフォンのような汎用センサデバイスの利用を前提としたネットワークとして People-centric Network (PCN)³⁾に関する研究が進められている。PCN では、獲得されたセンサデータはサーバ・クラウド上に蓄積され、データ利用者からの要求に応じて加工・提供されることが一般的である。しかし、データ提供者とデータ利用者に直接的な関係はなく、自身が提供データがどのように利用されるかが分からない状態で提供を行っているため、それらを知ることがモデルの構造上困難である。そのため、データの利用者と提供者の双方のポリシーを考慮したセンサデータの流通経路・条件の決定、およびポリシーの変更やネットワーク環境の変化に追従した自律的な流通経路・条件の制御が困難であるという課題が存在する。

提案基盤である COSAP は、マルチエージェントシステムを応用し、ポリシーを知識として与えられたコンポーネント同士による自律的な交渉・契約によってセンサデータの流通経路・条件を決定するサービ

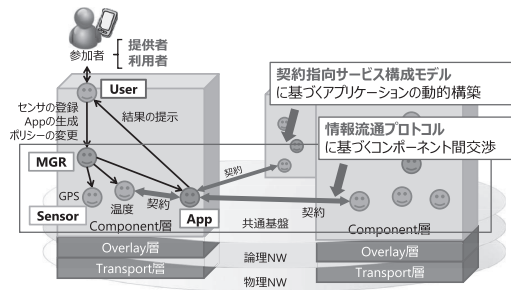


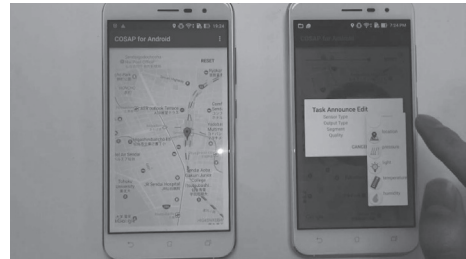
図 2: COSAP の概要

ス構築プラットフォームである。図 2 に COSAP のアーキテクチャの概要を示す。COSAP はサーバレスなアーキテクチャを採用しており、任意のセンサネットワークによって繋がれた利用者所有の端末上で動作する。利用者はトランスポート層の機能を利用して端末間での直接的な通信が可能であり、オーバーレイ層は第 2 章で提案した Waon を用いることで目的の端末への到達可能性を提供する。コンポーネント層における共通基盤上では、サービスは契約指向サービス構成モデルに基づくコンポーネント間の相互作用によって動的に構築され、センサデータの流通経路・条件は情報流通プロトコルに基づくコンポーネント間の自動交渉によって決定される。そして、自作のシミュレータを用いた提案プロトコルの評価実験により、コンポーネント間で正しくセンサデータの流通経路が構築され、ポリシーや環境の変化に応じて自律的に適切な制御が行われることを確認した。また、実端末を用いた評価実験により、登録されたポリシーに基いてスマートフォンに内蔵されたセンサデータを利用者間で自由に共有可能であることを示した (図 3)。

4. センサデータ流通基盤の実環境への適用

第 4 章では、【課題 C】センサデータ流通基盤の利用環境構築に関する課題を解決するために、ツリー型構造化 D2D 通信基盤 ICOS を提案する。

利用環境を構築するための未知のセンサデバイス間の直接通信の実現には、D2D ネットワーク技術の適用が有効である。現在普及している D2D プロトコルには Bluetooth や Wi-Fi Direct があるが、本研究では通信速度や電波の有効範囲の点で優れる Wi-Fi Direct に着目する。しかし、Wi-Fi Direct では、直接通信が可能なグループに限定したシングルホップ通信しか行うことができず、グループ間通信や複数の端末を経由するマルチホップ通信が困難である。さらに、その問題を解決する関連研究においては、事前に端末間で設定を共有しておく必要⁴⁾や、グループを越えて転送する際には 5 秒以上の遅延が発生する⁵⁾といった課題が存在する。



(a) サービスの動的構築



(b) 自律的なセンサデータの流通

図 3: 実端末を用いた COSAP の評価実験

提案基盤である ICOS は、Wi-Fi Direct と Wi-Fi を併用して用いることによって、端末間の事前の設定共有が不要で低遅延なマルチホップ通信を実現する通信基盤である。具体的には、Wi-Fi Direct と Wi-Fi が異なる NIC を用いる特徴に着目し、グループ内接続には Wi-Fi Direct 側の NIC、グループ間接続には Wi-Fi 側の NIC を用いることで、メッセージの転送毎にトポロジの再構築が不要なツリー型トポロジを構築する。トポロジの構築は OS に標準に内蔵されている機能のみを用いて各端末が自律分散的に実施することが可能である。また、マルチホップ通信に用いる経路表の構築は相手端末情報を用いずにトポロジ内の端末間の相対的な関係性のみに基づいて実施するため、事前に情報を知りえない未知の端末であっても効率的な通信を可能とする。そして、ICOS および ICOS に基づくセンサデータ共有システムの実装を通して、端末の移動等によってネットワーク構造が変化した場合でも周辺端末間でのセンサデータの流通が維持可能であることを示した (図 4)。また、ICOS の性能評価実験では、40 秒以内で未知の周辺端末と D2D ネットワークの構築を完了し、トポロジの再構築を伴わずに任意の端末とマルチホップ通信が可能であることを示した (図 5)。なお、図 5(a) における G0, P2P, Wi-Fi はそれぞれトポロジ構築フェーズの各段階を表しており、それらを集約したトポロジ構築時間全体が ALL で表される。また、d は端末間距離 (cm) を表す。

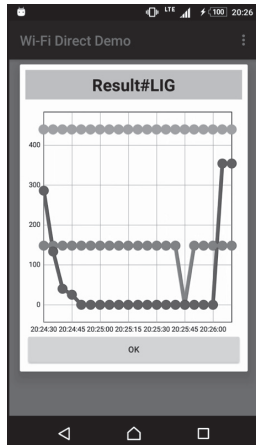
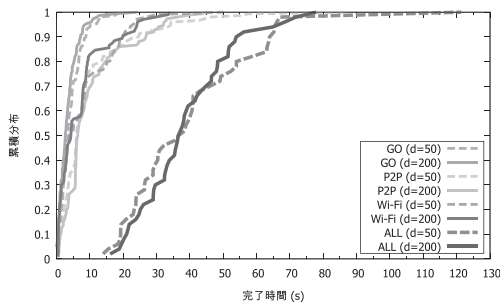
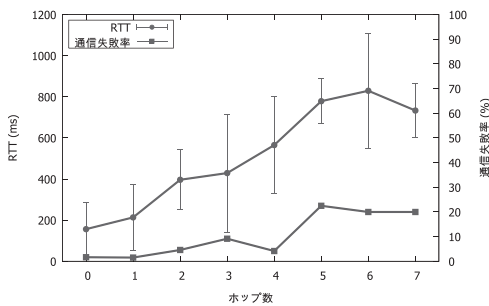


図 4: 端末に移動に伴うトポロジの再構築



(a) トポロジ構築の所要時間



(b) マルチホップ通信の所要時間

図 5: ICOS の性能評価

5. 結論

本研究では、スマートフォン等の汎用センサデバイスによるセンサデータ流通基盤の実現を目指し、ネットワークの構築時、センサデータの流通経路の決定時、そして流通基盤の利用環境の構築時における研究課題を解決した。具体的には、自律分散型 P2P 通信基盤 Waon を提案することによって、センサデバイスの参加・離脱、およびサービスの展開・消滅が断続

的に行われる動的なネットワーク環境下においても、端末間の接続関係を維持可能なネットワーク基盤を実現した。また、契約概念に基づくセンサデータ流通基盤 COSAP を提案することによって、データの利用者と提供者の双方のプライバシーポリシーに基づいて自動的にセンサデータの流通経路・条件が決定されるサービス構築プラットフォームを実現した。さらに、ツリー型構造化 D2D 通信基盤 ICOS を提案することによって、周辺の端末を自動的に検出してプライベートなネットワークを構築し、センサデータ共有基盤を展開可能な機構を実現した。以上の研究成果により、利用者は要求に応じて他者と自由にプライベートなネットワークを構築し、ネットワーク上に即時的に展開されたサービスにより必要十分なデータのみを提供・獲得し、それらを普段持ち歩く汎用センサデバイスに変更を加えることなく利用することが可能となった。これによって、目的を達成し、社会実装が期待される複数のデバイスやサービスが協調する超スマート社会の実現への貢献を果たした。

今後の課題としては、交渉・契約で用いられる提案プロトコルの表現力を拡張し、センサデータのみならずマルチメディアデータや質的データを表現可能とする。これにより、本提案基盤の更なる拡張が期待できる。また、センサデータの提供者やデータの中継者に対して報酬を与えるインセンティブ機構の導入する。これにより、他者のために積極的にセンサデータを獲得・提供する誘因が生じ、センサデータの流通や協調の高度化が期待できる。

参考文献

- 1) 第 5 期 科学技術基本計画, 内閣府, 入手先 <http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5honbun.pdf> (2017-11-07).
- 2) Bharambe, A. R., Agrawal, M. and Seshan, S.: Mercury: Supporting Scalable Multi-Attribute Range Queries, *Proc. SIGCOMM*, Vol. 34, No. 4, pp. 353–366 (2004).
- 3) Conti, M., Boldrini, C., Kanhere, S. S., Mingozzi, E., Pagani, E., Ruiz, P. M. and Younis, M.: From MANET to people-centric networking: Milestones and open research challenges, *Computer Communications*, pp. 1–21 (2015).
- 4) Casetti, C., Chiasserini, C. F., Pelle, L. C., Valle, C. D., Duan, Y. and Giaccone, P.: Content-centric Routing in Wi-Fi Direct Multi-group Networks, *Proc. WoWMoM*, pp. 1–9 (2015).
- 5) Liu, K., Shen, W., Yin, B., Cao, X., Cai, L. X. and Cheng, Y.: Development of Mobile Ad-hoc Networks over Wi-Fi Direct with Off-the-Shelf Android Phones, *Proc. ICC*, pp. 1–6 (2016).